

УДК 911.3

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

М.Э. Мифтахова, М.В. Панасюк

Аннотация

Представлены результаты вейвлет-анализа и вейвлет-прогнозирования динамики основных социально-экономических индикаторов, характеризующих состояние муниципальных районов и городских муниципальных округов Республики Татарстан. Показаны возможности использования вейвлет-методов в исследовании устойчивости индикаторов, особенностей динамики различных уровней иерархии региона и определении направлений его развития.

Ключевые слова: региональная социально-экономическая система, дискретное вейвлет-преобразование временных рядов, вейвлет-анализ, вейвлет-прогнозирование, социально-экономические индикаторы состояния городских округов и муниципальных районов Республики Татарстан.

Введение

Сложность процессов развития региональной социально-экономической системы обуславливает необходимость совершенствования существующей методической базы их анализа. Одним из перспективных направлений анализа динамики региональной системы являются методы вейвлет-анализа.

Появившись в середине 80-х годов XX века для решения относительно узкого класса задач обработки сигналов, теория вейвлетов в последние годы приобретает общенаучный статус. Приоритетную область ее применения составляет анализ нестационарных во времени и неоднородных в пространстве процессов развития систем. Методы вейвлет-анализа используются в исследованиях в медицине, биологии, метеорологии, экономике, социологии и других областях [1–10].

Вейвлет-анализ, как правило, рассматривают в сравнении с традиционным аппаратом представления сигналов в виде рядов Фурье. Область эффективного действия анализа Фурье ограничивается стационарными сигналами, в то время как теория вейвлетов предоставляет возможности для исследования нестационарных сигналов, имеющих локальные особенности.

Вейвлеты являются особыми функциями, набор которых представляет собой ортогональный базис в пространстве функции одной переменной и строится с использованием масштабных преобразований и смещений. Изменение масштабов позволяет вейвлетам выявить различия в характеристиках сигнала на разных шкалах, смещение – проанализировать их свойства в разных точках на всем изучаемом интервале.

Существуют два основных класса вейвлет-преобразований: непрерывные и дискретные. Дискретный вейвлет-анализ позволяет представить непрерывную функцию $f(t)$ как сумму функций

$$f(t) = \sum_{j,k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \cdot \psi_{j,k}(t), \quad (1)$$

где переменные j и k задают масштаб и положение вейвлета соответственно, $\psi_{j,k}(t)$ – вейвлет-функция, $d_{j,k}$ – коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования [1; 11, с. 33–44].

В практике экономического анализа в основном используются дискретные вейвлет-преобразования. Они обеспечивают, как правило, более точное преобразование и представление сигнала, а также более точную его реконструкцию. В то же время непрерывные вейвлет-преобразования способствуют наглядному представлению результатов анализа [1].

Теория вейвлетов пока не нашла широкого применения в анализе региональных систем. Возрастающий интерес к вейвлет-анализу объясняется особой гибкостью его методов по отношению к сложным нестационарным процессам. С точки зрения задач анализа динамики региональных систем главной особенностью вейвлет-преобразований является то, что они обеспечивают одновременное представление как частотной характеристики процесса развития системы, так и его временной и пространственной локализации. Частота и координата рассматриваются как независимые переменные.

Методы вейвлет-анализа позволяют распознать и описать скрытые тонкие моменты сложных процессов развития региональной системы, недоступные при использовании существующих методов анализа. Они способствуют выявлению детальных, выпадающих из общей тенденций особенностей динамики. Фильтрационные и реконструкционные свойства вейвлет-преобразований позволяют оперировать пространственно-временной информацией без потери значимых деталей.

2. Методы вейвлет-анализа и вейвлет-прогнозирования развития региональной социально-экономической системы

Использование методов вейвлет-анализа при построении аналитических и прогнозных моделей динамики региональной системы, состояние которой характеризуется набором социально-экономических индикаторов, предполагает переход от постановки задачи анализа сигнала к постановке статистической задачи. Имеющиеся аналитические переменные интерпретируются как статистические наблюдения.

Предполагается, что задан динамический ряд – выборка наблюдаемого периода $V(V_1, V_2, \dots, V_N)$, где $N = 2^J$, J – целое число. Измерения производятся через равные промежутки времени. Заданная выборка анализируется с помощью методов дискретного вейвлет-анализа. Анализ основывается на декомпозиции исследуемого процесса с выделением уровней детализации (масштабов) и выявлении специфических характеристик, скрытых особенностей развития процесса на различных масштабах.

Разработанный нами метод вейвлет-анализа динамики региональной системы включает восемь основных этапов.

1. Подготовка исходных данных. Главными процедурами на данном этапе являются выделение основного тренда из динамических рядов значений индикаторов, с последующим его удалением, и вычисление относительных колебаний значений индикаторов вокруг тренда.

2. Предварительное формирование набора вейвлет-функций, из которых предполагается выбрать оптимальную для анализа динамики каждого конкретного индикатора.

3. Вейвлет-декомпозиция динамических рядов относительных колебаний значений индикаторов с выделением масштабов на основе сформированного набора вейвлетов и выбор оптимальной вейвлет-функции для каждого конкретного индикатора. Инструментом выделения составляющих динамики региональных систем является кратномасштабный анализ, позволяющий осуществлять быстрые численные расчеты локальных характеристик на разных масштабах. Дискретный вейвлет-анализ базируется на использовании двух функций: 1) масштабирующей, или скейлинг-функции, $\varphi(t)$, определяющей аппроксимацию динамического ряда и аппроксимирующие коэффициенты; 2) вейвлет-функции $\psi(t)$, определяющей детали динамического ряда и детализирующие коэффициенты. Пусть переменная j задает уровень детализации, причем большее j будет соответствовать более грубому масштабу. Максимально возможное число уровней детализации равно J . Динамический ряд V_1, V_2, \dots, V_N продолжается периодическим повторением на всю временную ось. Согласно принятой теории вейвлет-декомпозиции, значения полученного бесконечного динамического ряда рассматриваются как аппроксимирующие коэффициенты разложения некоторой функции $V(t)$ на уровне $j = 0$:

$$a_{0,k} = V_k. \quad (2)$$

При этом все детализирующие коэффициенты для $j \leq 0$ считаются равными нулю. Тогда на n -м уровне j_n декомпозиция $V(t)$ будет иметь следующий вид:

$$V(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{j_n,k} \cdot \varphi_{j_n,k}(t) + \sum_{j=1}^{j_n} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \cdot \psi_{j,k}(t), \quad (3)$$

где переменная k задает положение вейвлета, $a_{j_n,k}$, $d_{j,k}$ – коэффициенты аппроксимации и детализации соответственно [1; 11, с. 186–228; 12, с. 31–42].

Мы предлагаем следующий критерий выбора оптимального вейвлета для исследования динамики конкретного индикатора. Более подходящим считается тот вейвлет, который дает наиболее информативное распределение энергии динамического ряда относительных колебаний по уровням детализации. Энергия на масштабе j определяется как

$$E_j = \sum_k d_{j,k}^2. \quad (4)$$

Энтропия набора энергий вычисляется по стандартной формуле для энтропии случайной выборки:

$$S = - \sum_j E_j \cdot \ln E_j. \quad (5)$$

Выбирается та вейвлет-функция, которой соответствует наименьшая энтропия. Фактически данный критерий является модификацией критерия энтропии, применяемого при решении задач сжатия данных.

4. Исследование структуры колебаний с определением значимости каждого масштаба и выявление особенностей развития системы на различных масштабах. В зависимости от количества масштабов, представленных в структуре относительных колебаний, можно судить о степени сложности последней. Роль масштабов в динамике региональной системы неодинакова. Среди масштабов выделяются один, редко два, которые определяют общую динамику развития.

Для исследования структуры колебаний была вычислена значимость уровня детализации j , которая определяется как доля энергии уровня j в общей энергии колебаний динамического ряда:

$$P_j = \left(\frac{E_j}{E} \right) \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $E = \sum_j E_j$.

Чем выше доля энергии P_j , тем выше значимость уровня j в общей структуре колебаний.

5. Выделение типов динамики колебаний значений индикаторов. На основании вейвлет-анализа нами на каждом масштабе были выделены типы динамики колебаний. В основу типологии были положены три признака: 1) наличие постоянной тенденции изменения амплитуды колебаний и направление данной тенденции; 2) варьирование тенденции, то есть наличие противоположных тенденций амплитуды колебаний; 3) наличие скачков в динамике амплитуды колебаний. Предлагается рассматривать девять типов динамики:

- 1) приблизительно постоянная амплитуда;
- 2) выраженная тенденция увеличения амплитуды;
- 3) выраженная тенденция уменьшения амплитуды;
- 4) выраженная тенденция увеличения амплитуды со скачкообразным уменьшением величины амплитуды;
- 5) выраженная тенденция уменьшения амплитуды со скачкообразным увеличением величины амплитуды;
- 6) постепенная смена типа динамики на базе чередования типов 1–3, завершающаяся типом 2;
- 7) постепенная смена типа динамики на базе чередования типов 1–3, завершающаяся типом 3;
- 8) скачкообразная смена типа динамики на базе чередования типов 1–3, завершающаяся типом 2;
- 9) скачкообразная смена типа динамики на базе чередования типов 1–3, завершающаяся типом 3.

6. Объективная балльная оценка устойчивости типов динамики колебаний значений индикаторов. Данный этап включает балльную оценку значений при-

знаков, положенных в основу типологии динамики развития региональной системы и собственно объективную балльную оценку устойчивости типов динамики. В соответствии с балльной оценкой типы динамики формируют систему, близкую к зеркально симметричной, где по мере уменьшения устойчивости следуют друг за другом в следующем порядке: тип 3, тип 5, тип 7, тип 9, тип 1, тип 6, тип 4, тип 8, тип 2. Предлагается условно разделить все типы динамики на две группы. Типы 2, 4, 6, 8 следует относить к группе, характеризующей неустойчивую динамику колебаний значений индикаторов. В свою очередь, типы 1, 3, 5, 7, 9 образуют группу, соответствующую устойчивой динамике.

7. Объективная вейвлет-оценка устойчивости динамики индикатора в субъектах региональной системы. Нами были предложены два метода объективной балльной вейвлет-оценки устойчивости. Первый метод объективной оценки устойчивости динамики индикатора в субъектах региональной системы заключается в учете характера динамики колебаний вокруг основного тренда. Субъекту m региональной системы на каждом значимом для него масштабе j присваивается балл устойчивости в зависимости от принадлежности динамики индикатора к одному из типов. Суммарный балл субъекта m с учетом всех значимых для него масштабов j определяется как

$$B_{S1}^m = \sum_j b_j^m \cdot P_j^m, \quad (7)$$

где b_j^m – балл субъекта на уровне j .

Второй метод наряду с характером динамики принимает во внимание величину амплитуды колебаний значений индикатора вокруг основного тренда. Последняя ввиду близости средней величины колебаний к 0 может быть оценена с помощью показателя дисперсии. Суммарный балл субъекта m находится по формуле:

$$B_{S2}^m = \sum_j b_j^m \cdot P_j^m + B_D^m. \quad (8)$$

где B_D^m – балльная оценка дисперсии значений амплитуды колебаний индикатора для субъекта m .

Результатом двух методов объективной оценки устойчивости индикатора являются балльные оценки субъектов региональной системы. В зависимости от объективной балльной оценки субъекта m региональной системы его предлагается относить к одной из двух категорий. Первая категория соответствует устойчивой динамике относительных колебаний значений индикатора, вторая – неустойчивой.

8. В заключении вейвлет-анализа динамики социально-экономических индикаторов субъекты региональной системы были разделены на группы в зависимости от сочетания категории устойчивости динамики относительных колебаний с направлением основной тенденции. Исходя из сущности конкретного индикатора, можно определить, позитивной или негативной является наблюдаемая тенденция его изменений. Далее предлагается выделять четыре группы субъектов:

- с устойчивой позитивной тенденцией;

- с устойчивой негативной тенденцией;
- с неустойчивой позитивной тенденцией;
- с неустойчивой негативной тенденцией.

В случае наличия позитивной тенденции устойчивость динамики колебаний является положительным фактором. В сочетании с негативной основной тенденцией устойчивость рассматривается как отрицательный фактор, усугубляющий ситуацию. Для неустойчивой динамики колебаний имеет место обратное соответствие.

Предложенный метод вейвлет-анализа позволил провести исследование иерархии региональной социально-экономической системы. Анализ осуществлялся на трех основных уровнях: 1) система в целом, 2) крупные системообразующие поселения, 3) сельские районы.

Сравнительное исследование динамики относительных колебаний каждого индикатора на рассматриваемых иерархических уровнях проводилось на основе двух подходов. Первый подход подразумевает сравнение доли городов и районов, отнесенных к различным по устойчивости группам типов динамики. Второй подход основан на вычислении для каждого масштаба средних баллов устойчивости по городам и районам и их сопоставлении. На каждом масштабе городам (районам) присваиваются баллы в соответствии с принадлежностью динамики индикатора к одному из типов. Средний балл индикатора по городам (районам) масштаба j вычисляется как среднее арифметическое суммы баллов всех городов (районов):

$$\bar{B}_{c(r)}^j = \sum_k b_j^k / N_j, \quad (9)$$

где $\bar{B}_{c(r)}^j$ – средний балл устойчивости индикатора по городам (районам) на масштабе j , b_j^k – балл каждого города (района) k на масштабе j , N_j – число городов (районов) в общей структуре колебаний значений индикатора, в которых присутствует масштаб j .

Чем ниже средний балл $\bar{B}_{c(r)}^j$, тем выше устойчивость индикатора.

Вейвлет-анализ был использован для построения прогнозной модели динамики региональных социально-экономических систем. Нами предлагается метод прогнозирования перспектив развития региональной системы, основанный на использовании принципов вейвлет-анализа. Вычисление прогнозных значений динамического ряда осуществляется на основе объединения аппроксимирующих и детализирующих его составляющих, рассчитанных на перспективный период. Совокупность полученных наборов коэффициентов, соответствующих прогнозируемому периоду, рассматриваются как коэффициенты вейвлет-декомпозиции некоторой функции $\tilde{V}(t)$:

$$\tilde{V}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \tilde{a}_{j_n,k} \cdot \varphi_{j_n,k}(t) + \sum_{j=1}^{j_n} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \tilde{d}_{j,k} \cdot \psi_{j,k}(t), \quad (10)$$

где $\tilde{a}_{j_n,k}$, $\tilde{d}_{j,k}$ – соответствующие перспективному периоду аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты соответственно.

Функция $\tilde{V}(t)$ на уровне $j = 0$ восстанавливается как

$$\tilde{V}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \tilde{a}_{0,k} \cdot \varphi_{0,k}(t). \quad (11)$$

Полученные значения аппроксимирующих коэффициентов $\tilde{a}_{0,k}$ считаются прогнозными значениями исходного динамического ряда:

$$V_{N+k} = \tilde{a}_{0,k}. \quad (12)$$

3. Результаты исследования динамики основных социально-экономических индикаторов состояния региональной системы Республики Татарстан

Теория и методы дискретного вейвлет-анализа были использованы для решения ряда задач анализа динамики развития региональных систем. В качестве объекта исследования была выбрана система муниципальных районов и муниципальных городских округов Республики Татарстан (РТ). Основу анализа составили базовые социальные и экономические индикаторы состояния системы – объем производства промышленной продукции, среднесписочная численность работающих в экономике, среднемесячная заработная плата, инвестиции в основной капитал и т. д. Выборки динамических рядов включали 32 наблюдения за период 1999–2006 гг. по отдельным кварталам. Для анализа в соответствии с критерием, изложенным в п. 3 метода вейвлет-анализа, были выбраны пять вейвлет-функций: функция Добеши порядков 2, 3, 4, симлет порядка 4 и койфлет порядка 1. В результате вейвлет-декомпозиции были получены составляющие относительных колебаний вокруг основного тренда на трех масштабах: 1–2-х кварталов, 2–4-х кварталов, 1–2-х лет. Они обозначаются как масштабы 2-х, 4-х и 8-ми кварталов, или полугодичный, годичный и двухгодичный соответственно.

Результаты вейвлет-анализа динамики объема промышленной продукции показывают, что подавляющее большинство муниципальных районов имеет относительно сложную трехмасштабную структуру относительных колебаний. При этом муниципальные районы РТ сильно дифференцированы по масштабу, определяющему общую динамику. В структуре относительных колебаний почти 60% субъектов основным является масштаб 2-х кварталов. Масштабы 4-х и 8-ми кварталов имеют ведущее значение в основном в аграрных районах Закамья и Предкамья.

На масштабе 2-х кварталов совокупность типов динамики, характеризующих увеличение амплитуды колебаний (типы 8, 4 и 6) с перевесом почти 10%, преобладает над противоположными (типы 7, 9 и 5) (рис. 1).

Типы 8 и 6 представлены в Юго-восточном экономическом микрорайоне, а также в большинстве субъектов Предкамского и Северо-Восточного микрорайонов. Постепенная смена характера динамики амплитуды колебаний, завершающаяся ее уменьшением (тип 7), отмечена в Закамском и Северо-Западном экономических микрорайонах.

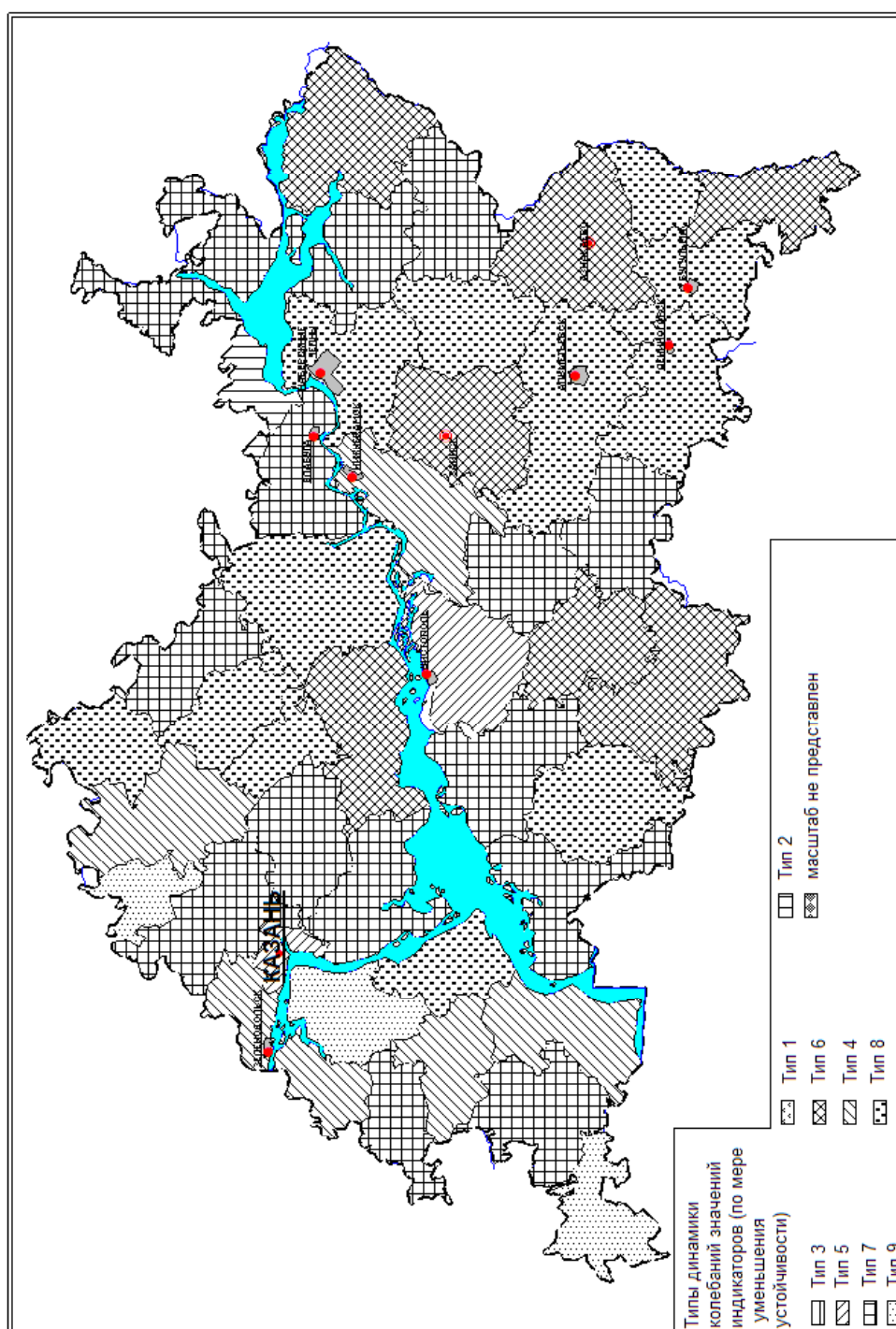


Рис. 1. Динамика объема производства промышленной продукции в муниципальных районах РТ на масштабе 2-х кварталов в период 1999–2006 гг.

Масштаб 4-х кварталов отличается преобладанием характера динамики с основной тенденцией снижения амплитуды колебаний, сопровождающейся в основном локальными скачкообразными изменениями последней (рис. 2). Уменьшение амплитуды колебаний (типы динамики 5, 7, 9) было отмечено почти в 60% от общего числа субъектов. Характеризуемые увеличением амплитуды колебаний типы динамики 4 и 6 были выявлены преимущественно в Северо-Западном экономическом микрорайоне, а также в ряде субъектов Закамского и Северо-Восточного микрорайонов.

На масштабе 8-ми кварталов в восточных микрорайонах, а также в Закамье и Предволжье была зафиксирована плавная смена характера динамики амплитуды колебаний, приводящая к ее уменьшению (тип 7) (рис. 3).

Примерно в 35% субъектов РТ, преимущественно в Предкамском экономическом микрорайоне и ряде восточных муниципальных районах, при укрупнении масштаба наблюдается понижение устойчивости. Обратная ситуация прослеживается в менее чем 15% субъектов.

В соответствии с первым методом вейвлет-оценки устойчивости, основанном на учете характера динамики относительных колебаний, 42% субъектов РТ отличает устойчивая динамика. В данной категории оказались муниципальные районы Северо-Западного и Закамского экономических микрорайонов, а также оба городских муниципальных округа. Большинство субъектов РТ, включая относительно развитые районы – Нижнекамский, Зеленодольский, Альметьевский, Заинский и др., были отнесены к категории с неустойчивой динамикой колебаний значений индикатора.

Согласно второму методу вейвлет-оценки устойчивости, учитывающему в дополнении к характеру динамики также величину амплитуды, в категорию устойчивых попали не более четверти субъектов РТ. Как правило, устойчивая динамика колебаний объема промышленной продукции сочетается с позитивной восходящей тенденцией. Основная масса субъектов РТ, преимущественно локализованных на востоке, отличается неустойчивостью позитивной тенденции. Примерно в 30% муниципальных районов отмечается неустойчивость нисходящей тенденции показателя, что позволяет говорить о возможных перспективах преодоления наблюдаемой негативной динамики.

На основании вейвлет-анализа динамики среднесписочной численности занятых были сделаны выводы о том, что субъекты региональной системы РТ сильно дифференцированы как по сложности структуры относительных колебаний, так и по определяющему динамическому масштабу. Сложную трехмасштабную структуру относительных колебаний имеют более 80% субъектов РТ. Двухмасштабная структура была отмечена в отдельных субъектах всех экономических микрорайонов, за исключением Юго-Восточного. В 65% субъектов основным является масштаб 4-х кварталов. В 15% субъектов, локализованных преимущественно на востоке РТ, определяющую роль играет масштаб 2-х кварталов. Для оставшихся субъектов, в том числе имеющих высокий социально-экономический потенциал (Зеленодольского района, г. Казани и др.), характерна одинаковая значимость нескольких масштабов.

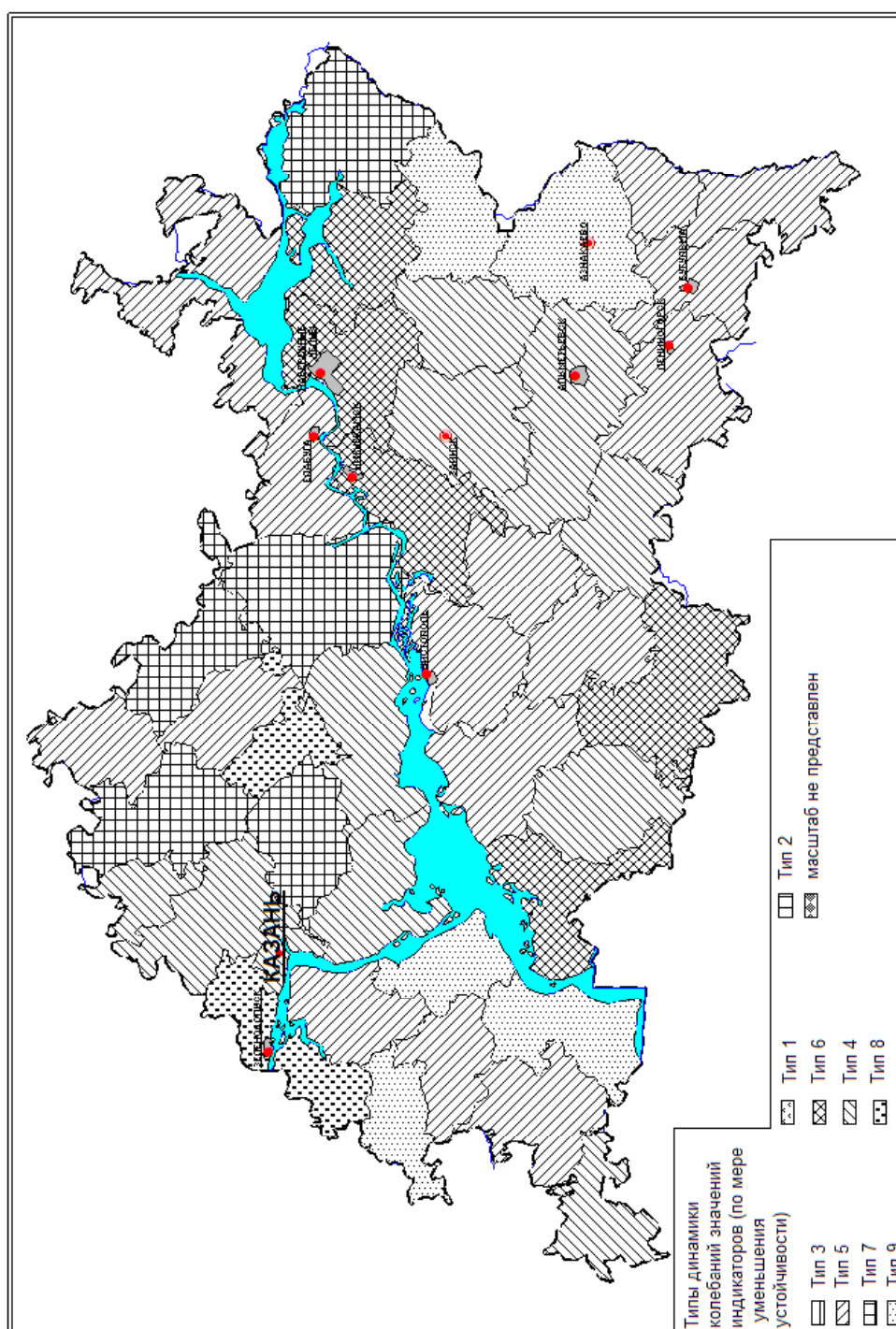


Рис. 2. Динамика объема производства промышленной продукции в муниципальных районах РТ на масштабе 4-х кварталов в период 1999–2006 гг.

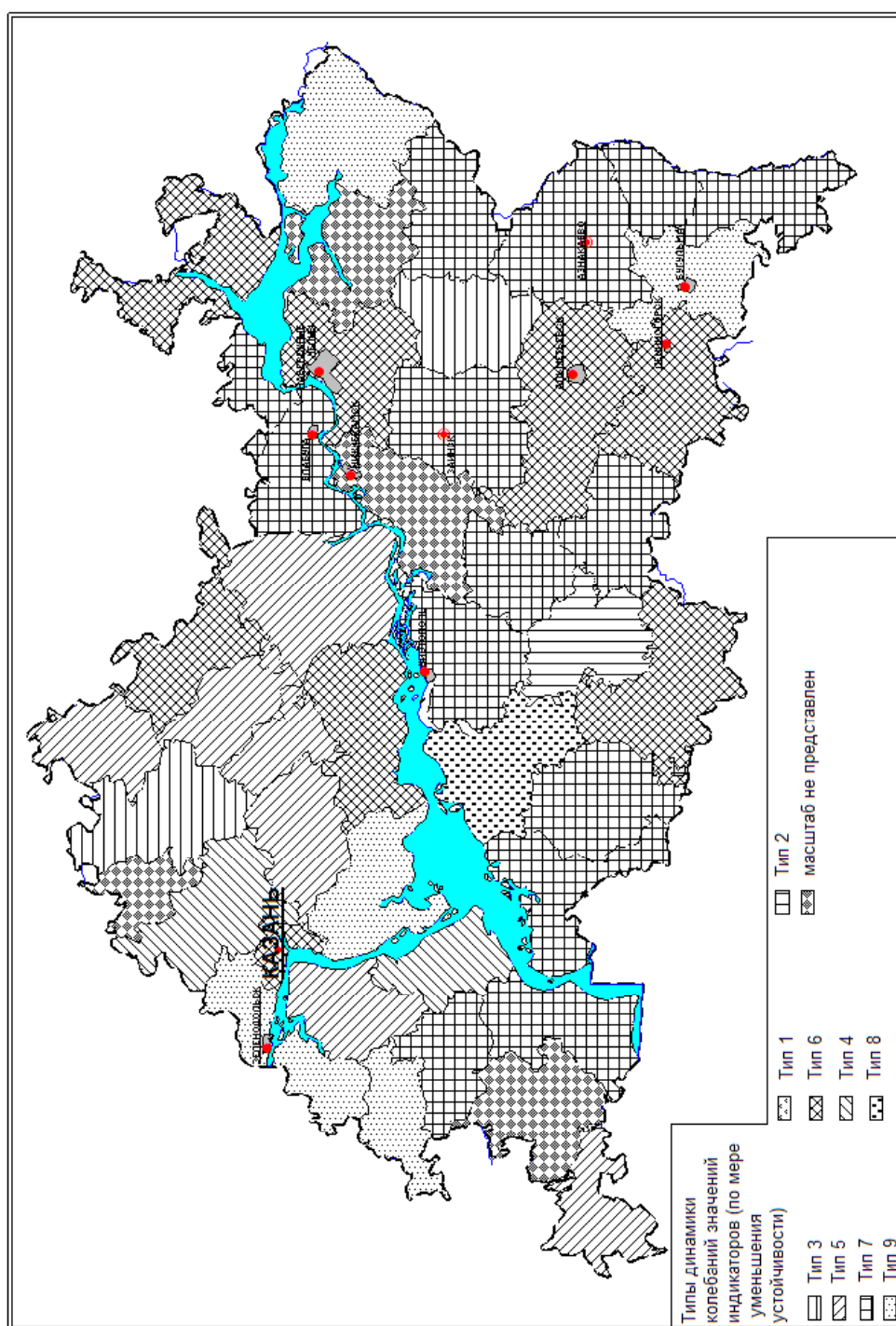


Рис. 3. Динамика объема производства промышленной продукции в муниципальных районах РТ на масштабе 8-ми кварталов в период 1999–2006 гг.

На масштабе 2-х кварталов почти в 60% субъектов отмечается тенденция роста амплитуды колебаний (типы динамики 8, 4, 6). Типы 8, 4, 6 преобладают в Закамском и Северо-Восточном экономических микрорайонах.

На годовом масштабе 60% субъектов были отнесены к типам динамики, характеризующимся уменьшением амплитуды колебаний (типы 5, 7 и 9). Данные типы представлены главным образом в Предволжском и Северо-Западном экономических микрорайонах. Типы динамики 4, 8 и 6, демонстрирующие увеличение амплитуды, отмечены в основном в Закамском и Северо-Восточном экономических микрорайонах. Масштаб 8-ми кварталов отличает преобладание типов динамики 4 и 7. В более чем 40% субъектов РТ более крупному масштабу соответствует более низкий уровень устойчивости. Подобное положение отмечается преимущественно в Предволжском и Северо-Восточном микрорайонах. В четверти субъектов наблюдается обратная ситуация.

При использовании первого метода оценки устойчивости к категории устойчивых была отнесена почти половина субъектов РТ, в том числе большинство входящих в состав Предволжского и Юго-Восточного микрорайонов. Муниципальные районы с неустойчивой динамикой колебаний доминируют в Закамском и Северо-Восточном экономических микрорайонах.

По результатам второго метода устойчивыми являются не более 24% муниципальных районов, половина из которых расположена на востоке РТ. При этом подавляющее большинство субъектов с устойчивой динамикой колебаний численности занятых отличается негативной нисходящей тенденцией. Более 70% муниципальных районов РТ характеризуются неустойчивостью негативной тенденции, что позволяет говорить о возможных перспективах позитивной динамики.

Вейвлет-анализ среднемесячной заработной платы показывает, что в структуре относительных колебаний всех субъектов РТ присутствуют масштабы 2-х и 4-х кварталов при определяющей роли масштаба годового масштаба. Сложная трехмасштабная структура относительных колебаний характерна для 60% субъектов, в которых был зафиксирован масштаб 8-ми кварталов.

В динамике основного для заработной платы годового масштаба отмечается преимущественно постоянная тенденция уменьшения амплитуды колебаний со скачкообразным ростом величины последней (тип динамики 5).

Для почти 70% субъектов РТ с укрупнением масштаба наблюдается снижение устойчивости. Данная особенность отмечается в Северо-Восточном экономическом микрорайоне, а также в большинстве субъектов Северо-Западного и Предволжского микрорайонов.

В соответствии с первым методом оценки устойчивости в категорию с устойчивой динамикой показателя попали 63% субъектов РТ, в том числе города Казань и Набережные Челны. Неустойчивая динамика показателя характерна преимущественно для ряда относительно слабо развитых районов, в основном аграрной направленности.

Согласно результатам второго метода устойчивыми являются также более 60% субъектов РТ, характеризующихся позитивной восходящей тенденцией. Половина муниципальных районов с неустойчивой позитивной динамикой локализуется в Юго-Восточном и Северо-Восточном экономических микрорайонах.

Результаты вейвлет-анализа инвестиций в основной капитал свидетельствуют о различной по степени сложности динамики последнего в субъектах региональной системы РТ. В то же время динамика показателя в подавляющем большинстве муниципальных районов РТ определяется полугодовым масштабом. Масштабы 4-х и 8-ми кварталов выявлены примерно в 70–75% субъектов. Сложная трехмасштабная структура относительных колебаний зафиксирована в 60% субъектов, одномасштабная – в 10% субъектов, преимущественно аграрной направленности. В обоих муниципальных городских округах была отмечена двухмасштабная структура относительных колебаний.

Особенностью основного масштаба 2-х кварталов является наличие в динамике относительных колебаний локальных скачкообразных изменений амплитуды (типы динамики 9, 8, 4). Подобная ситуация характерна примерно для 60% субъектов РТ. Уменьшение амплитуды колебаний (типы 9, 7, 5) было зафиксировано в Предволжье, Предкамье и большинстве восточных муниципальных районов. Сочетание демонстрирующих увеличение амплитуды колебаний типов 8 и 4 было отмечено преимущественно в Закамском и Северо-Западном экономических микрорайонах.

Примерно в 40% от числа субъектов, имеющих в структуре относительных колебаний более одного масштаба, при укрупнении масштаба отмечается повышение устойчивости. Данная особенность в основном прослеживается в г. Казани, ряде восточных муниципальных районов и Предкамском экономическом микрорайоне. Соответствие меньшей устойчивости более крупному масштабу наблюдается в 25% субъектов.

По результатам первого метода оценки устойчивости 51% субъектов РТ были отнесены к категории с устойчивой динамикой. Ее составили преимущественно Закамский, Предкамский и Юго-Восточный экономические микрорайоны. Неустойчивая динамика характерна для большинства субъектов Закамского и Северо-Восточного экономических микрорайонов.

На основании второго метода к категории устойчивых были отнесены 20% субъектов, расположенных главным образом в восточной части РТ. Подавляющее число субъектов с устойчивой динамикой колебаний показателя инвестиций демонстрирует нисходящую основную тенденцию, что может свидетельствовать о сохранении на ближайшую перспективу наблюдаемой негативной динамики. В 60% субъектов РТ от общего числа, в том числе в двух городских муниципальных округах, была зафиксирована неустойчивость позитивной восходящей тенденции. Неустойчивая негативная динамика характерна не более чем для 20% муниципальных районов.

Сопоставление характерных особенностей динамики индикаторов на различных уровнях иерархии региона позволило сделать ряд выводов.

1. Уровень РТ, как правило, во многом определяется двумя городскими муниципальными округами, что выражается в совпадении как масштабной структуры относительных колебаний, так и типов устойчивости динамики, прежде всего на основных масштабах.

2. Главные особенности структуры относительных колебаний большинства индикаторов на рассматриваемых уровнях в основном совпадают. Отмечается совпадение как по степени сложности структуры относительных колебаний,

так и по масштабам, определяющим динамику. Дифференциация по сложности структуры при едином основном масштабе характерна только для показателей, отличающихся выраженной сезонностью.

3. На масштабе 2-х и 8-ми кварталов доля сельских районов, отнесенных к категории с устойчивой динамикой относительных колебаний значений индикаторов, как правило, превышает соответствующую долю городских поселений. Более высокая доля городов с устойчивой динамикой по сравнению с сельскими районами характерна для масштаба 4-х кварталов.

4. Средние баллы устойчивости городов на масштабах 2-х и 8-ми кварталов выше, чем соответствующие значения сельских районов. На масштабе 4-х кварталов средний балл сельских районов выше значения городов.

5. Результаты, представленные в п. 3 и 4, свидетельствуют о большей устойчивости сельских районов по сравнению с городами на полугодовом и двухгодичном масштабах. В то же время городские поселения являются более устойчивыми на масштабе 4-х кварталов.

6. Уровень РТ, как правило, более устойчив по сравнению с другими уровнями на масштабе 4-х и 8-ми кварталов. Исключение составляет масштаб 2 кварталов, на котором уровень РТ демонстрирует меньшую устойчивость.

7. Вейвлет-метод оценки устойчивости, основанный на учете характера динамики относительных колебаний, показывает, что уровень РТ характеризуется неустойчивым характером динамики большинства индикаторов. Неустойчивость динамики, как правило, отмечается также в городах РТ. Города в основном менее устойчивы, чем соответствующие им сельские районы. Это относится и к тем случаям, когда и город, и район попадают в одну категорию по устойчивости. Отмеченные особенности позволяют сделать вывод о том, что уровень городов является источником изменений тенденций развития региональной системы.

Полученные результаты показывают, что динамика региональной системы в плане устойчивости на крупных масштабах более совпадает с уровнем городов. На масштабе 8-ми кварталов, напротив, РТ по устойчивости ближе к уровню сельских районов, чем к уровню городов. Отличия динамики городов и районов обуславливаются различной их ролью в региональной системе. Уровень системообразующих городов наиболее динамичен, подвержен качественным изменениям, он в целом определяет направления трансформации региональной системы, в то время как второй уровень относительно инертен, является основой ее стабильности.

Прогноз основных социально-экономических индикаторов на период 2007–2014 гг. был проведен на основе данных, полученных до 2007 года, и отражает положительный результат развития экономики в этот период, связанный с преодолением общеэкономического спада и наметившимся ростом в социальной и экономической сферах. Результаты прогнозирования, приводимые в сопоставимых ценах 1-го квартала 1999 г., следует воспринимать как полученные для модельной системы, не подверженной кризису 2008–2009 гг., обусловленному внешними факторами. Объем производства промышленной продукции на душу населения, составляя в 2006 г. 29646 руб., по прогнозу в 2010 г. возрастет до 46672 руб., в 2012 г. – до 55416 руб., в 2014 г. – до 63448 руб. По сравнению

с 4-м кварталом 2006 г. в соответствующий период 2014 г. объем промышленной продукции на душу населения без учета инфляции увеличится в 1.9 раза. Ожидается, что среднемесячная заработная плата одного работника в 2010 г. составит 13911 руб., в 2012 г. – 17387 руб., в 2014 г. – 19941 руб. По сравнению с 4-м кварталом 2006 г. в соответствующие периоды 2010 и 2014 гг. заработная плата без учета инфляции возрастет в 2.6 и 3.7 раза соответственно. По прогнозу объем инвестиций в основной капитал на душу населения, составляя в 2006 г. 7897 руб., к 2014 г. увеличится до 13842 руб.

При реализации метода вейвлет-прогнозирования удастся выявить как основную перспективную тенденцию исходной выборки значений рассматриваемого показателя, так и флуктуации их во времени, выявленных путем вейвлет-декомпозиции выборки. Таким образом, предложенный метод позволяет улавливать короткопериодические колебания динамического ряда на различных масштабах и накладывать их на трендовую составляющую, что обеспечивает получение более сложного и точного прогноза по сравнению с результатами традиционных методов прогнозирования [13].

Заключение

Оценка результатов вейвлет-анализа и прогноза позволяет сделать вывод о том, что предложенные методы имеют значительные перспективы в решении задач исследования процессов развития сложных региональных систем, имеющих нестационарную динамику, характеризующую совокупностью разноуровневых флуктуаций. Они позволяют определить детали флуктуационной структуры наблюдаемого динамического ряда, обеспечивая отображение тех особенностей динамики, которые обычно слабо выделяются на фоне общего тренда.

Summary

M.E. Miftakhova, M.V. Panasyuk. Wavelet Analysis of the Dynamics of a Regional System.

The results of wavelet analysis and wavelet-based forecasting of the dynamics of basic socio-economic indicators characterizing the condition of municipal areas and municipal city districts of the Tatarstan Republic are presented. The opportunities of the wavelet-based methods application to the investigation of the indicators stability, features of the region's hierarchy and prediction of the development of regional socio-economic systems are revealed.

Key words: regional socio-economic system, discrete wavelet transform of time series, wavelet analysis, wavelet-based forecasting, socio-economic indicators of the condition of municipal areas and municipal city districts of the Tatarstan Republic.

Литература

1. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их применение // Успехи физ. наук. – 2001. – Т. 171, № 5. – С. 465–501.
2. Capobianco E. Multiscale analysis of stock index return volatility // Computational Economics. – 2004. – V. 23, No 3. – P. 219–237.
3. Crowley P.M. A guide to wavelets for economists // Journal of Economic Surveys. – 2007. – V. 21. – P. 207–267.

4. *Fernandez V.* Time-scale decomposition of price transmission in international markets // *Emerging markets finance and trade*. – 2005. – V. 41, No 4. – P. 57–90.
5. *Gallegati M.* Wavelet analysis of stock returns and aggregate economic activity // *Computational Statistics and Data Analysis*. – 2008. – V. 52, No 6. – P. 3061–3074.
6. *Kim S., In F.* The relationship between stock returns and inflation: new evidence from wavelet analysis // *Journal of Empirical Finance*. – 2005. – V. 12, No 3. – P. 435–444.
7. *Lee H.S.* International transmission of stock market movements: a wavelet analysis // *Applied Economics Letters*. – 2004. – V. 11, No 3. – P. 197–201.
8. *Ramsey J.B., Lampart C.* Decomposition of economic relationships by timescale using wavelets // *Macroeconomic Dynamics*. – 1998. – V. 2. – P. 49–71.
9. *Ramsey J.B., Usikov D., Zaslavskiy G.M.* An analysis of U.S. stock price behaviour using wavelets // *Fractals*. – 1995. – V. 3, No 2. – P. 377–389.
10. *Давыдов А.А.* Вейвлет-анализ социальных процессов // *Социс*. – 2003. – № 11. – С. 89–101.
11. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: РХД, 2001. – 464 с.
12. *Воробьев В.И., Грибунин В.Г.* Теория и практика вейвлет преобразования. – СПб.: Изд-во ВУС, 1999. – 204 с.
13. *Панасюк М.В., Мифтахова М.Э.* Вейвлет-прогноз динамики геосистем // *Системы и методы обработки и анализа информации: Сб. науч. ст.* – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – С. 180–186.

Поступила в редакцию
22.10.08

Мифтахова Марьям Эльбрусовна – аспирант кафедры экономической географии и регионального анализа Казанского государственного университета.

E-mail: m_miftakhova@list.ru

Панасюк Михаил Валентинович – доктор географических наук, профессор кафедры экономической географии и регионального анализа Казанского государственного университета.

E-mail: mv_panasjuk@mail.ru